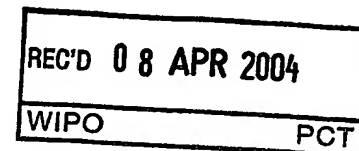


10/542123  
PCT/RU2004/000006

Роспатент 13 JUL 2005  
РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ  
(РОСПАТЕНТ)

 **ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ  
ПРОМЫШЛЕННОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-5, 123995  
Телефон 240 60 15. Телекс 114818 ПДЧ. Факс 243 33 37



«26» февраля 2004 г.

Наш № 20/12-76

## СПРАВКА

Федеральный институт промышленной собственности (далее – Институт) настоящим удостоверяет, что приложенные материалы являются точным воспроизведением первоначального описания, формулы, реферата и чертежей (если имеются) заявки № 2003100747 на выдачу патента на изобретение, поданной в Институт в январе месяце 14 дня 2003 года (14.01.2003).

**Название изобретения:**

Способ изготовления структуры кремний-на-изоля-  
торе

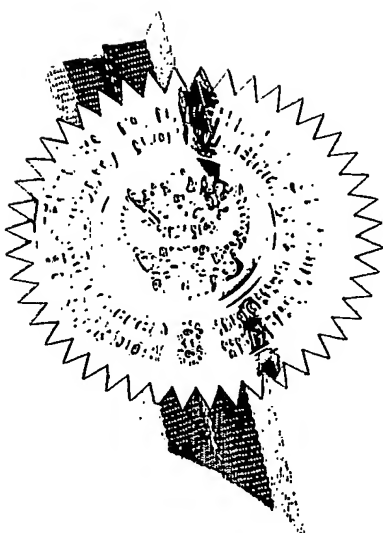
**Заявитель:**

Институт физики полупроводников Объединенного  
Института физики полупроводников СО РАН  
ПОПОВ Владимир Павлович

**Действительные авторы:**

ПОПОВ Владимир Павлович  
ТЫСЧЕНКО Ида Евгеньевна

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)



Заведующий отделом 20

  
А.Л.Журавлев

BEST AVAILABLE COPY

2003100747

## СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТРУКТУРЫ КРЕМНИЙ-НА-ИЗОЛЯТОРЕ

МПК: 7 H 01 L 21/0

7 H 01 L 21/3:

Изобретение относится к полупроводниковой технологии и может быть использовано в области создания современных материалов для микроэлектроники, частности, структур кремний-на-изоляторе (КНИ) для производства современных СБИС, других изделий микроэлектроники.

Известен способ изготовления структуры кремний-на-изоляторе (патент США № 5 374 564, МПК: 5 H 01 L 21/265), заключающийся в том, что в пластину кремния осуществляют имплантацию водорода, пластину кремния и подложку соединяют, расслаивают по имплантированному слою пластины. Имплантацию проводят ионной бомбардировкой пластины ионами, создающими в объеме пластины на глубине порядка средней глубины проникновения ионов слой газонаполненных микропор, который разделяет нижнюю область, содержащую подложку, и верхнюю область, содержащую тонкую пленку, при этом для имплантации используют ионы водорода или инертных газов, а температуру пластины поддерживают ниже температуры, при которой газ, образованный посредством имплантированных ионов, выходит из объема полупроводника вследствие диффузии. Расслоение термической обработкой соединенных пластины и подложки проводят при высокой температуре, выше температуры, при которой осуществляют ионную бомбардировку, величина которой достаточна для восстановления структуры материала пластины и для создания давления в микропорах, слой которых разделяет тонкую пленку и подложку, при этом пластину и подложку держат все время в контакте. Имплантацию проводят через один или более слоев, выращенных на пластине из разных материалов, при этом толщина слоев такова, что ионы способны «пробить» ее. При имплантации температуру пластины поддерживают в интервале от 20 до 450°C, а расслоение проводят при температуре выше 500°C. Имплантацию проводят через слой

оксида кремния, выращенный термически на пластине, который в изготовленной КНИ структуре является захороненным диэлектриком, а в качестве подложки используют кремниевую пластину.

Описанный способ обладает целым рядом недостатков, приводящих к снижению качества изготавливаемых структур кремний-на-изоляторе.

Во-первых, низкое качество захороненного диэлектрика в КНИ структурах, создаваемых описанным способом. А именно, в описанном способе имплантацию ионов  $H^+$  проводят через слой диоксида кремния, который в последующем используется как скрытый диэлектрик. Генерация дефектов в процессе имплантации, а также остаточный водород приводят к снижению изолирующих свойств слоя  $SiO_2$ . В свою очередь, дальнейшее применение  $SiO_2$  в качестве изолирующего диэлектрика предъявляет высокие требования к его пробивным полям, токам утечки, значения которых лимитируются в данном случае количеством генерированных в процессе имплантации дефектов и остаточного водорода, для устранения которых требуются дополнительные высокотемпературные отжиги при  $1100^\circ C$  в течение 2 часов.

Во-вторых, использование в указанном способе термического оксида, выращенного именно на пластине, в качестве скрытого диэлектрика приводит к тому, что границей раздела между отсеченным слоем кремния и захороненным диэлектриком является переходный слой Si/термический оксид. Величина этого переходного слоя может достигать нескольких нанометров, что ограничивает применение таких КНИ структур при создании приборов с пониженной размерностью (одноэлектронных и квантово-размерных приборов), в которых к совершенству границ раздела предъявляются высокие требования.

В-третьих, необходимость использования ионов  $H^+$  большой энергии, обусловленная обеспечением пробегов, достаточных для того, чтобы пробить верхний слой диоксида кремния и отсечь слой кремния, примыкающий к диэлектрику, приводит к увеличению разбросов ионов по пробегам и, как следствие, к увеличению дозы ионов для достижения

требуемой концентрации водорода, то есть - к увеличению радиационной нагрузки на формируемые КНИ структуры, а также к увеличению шероховатости поверхности.

В-четвертых, неоднородность переноса отсекаемого слоя кремния по площади пластины, обусловленная началом расслоения имплантированной пластины сразу во многих местах при температурах отжига  $\sim 500^\circ \text{C}$  и выше.

В-пятых, накопление водорода в пустотах на границе сращивания, обусловленных первоначальным скоплением физически адсорбированных веществ между поверхностями соединяемых пластины и подложки, а затем выходом его наружу при последующих высокотемпературных термообработках водородосодержащих структур.

Наиболее близким по совокупности признаков и назначению является способ изготовления структуры кремний-на-изоляторе (патент РФ №2164719, МПК: H 01 L 21/324), заключающийся в том, что в пластину кремния осуществляют имплантацию водорода, проводят химическую обработку пластины кремния и подложки, пластину кремния и подложку соединяют, сращивают и расслаивают по имплантированному слою пластины. Затем удаляют приповерхностный нарушенный слой с полученной на подложке структуры кремний-на-изоляторе. После расслоения по имплантированному слою пластины проводят отжиг при  $1100^\circ \text{C}$  в течение  $0,5 \div 1$  часа. Имплантацию водорода в первую пластину проводят через предварительно выращенный тонкий ( $20 \div 50 \text{ нм}$ ) слой  $\text{SiO}_2$ , который после имплантации убирают. При имплантации используют ионы водорода  $\text{H}_2^+$  дозой  $(2,5 \div 5) \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$ . В качестве подложки используют пластину кремния, на которой перед химической обработкой выращивают термический оксид кремния толщиной  $0,2 \div 0,5 \text{ мкм}$ . Приповерхностный нарушенный слой со структуры кремний-на-изоляторе, полученной на подложке в результате расслоения по имплантированному слою пластины, удаляют полировкой или окислением с последующим травлением. Сращивание пластины и подложки проводят при  $150 \div 250^\circ \text{C}$  в течение  $1 \div 2$  часов.

Расслоение по имплантированному слою пластины проводят при  $350\div 450^{\circ}\text{C}$  в течение  $0,5\div 2$  часов.

Известное техническое решение обладает также недостатками, приводящими к снижению качества структур кремний-на-изоляторе, которые заключаются в следующем.

Во-первых, в накоплении пустот на границе сращивания, которое обусловлено первоначальным скоплением водорода на пустотах, образованных остаточными примесями, физически адсорбированными на поверхностях сращиваемых пластины и подложки, и последующим выходом его наружу при высокотемпературных термообработках.

Во-вторых, в применении термических обработок соединенных пластины и подложки при температурах выше  $350^{\circ}\text{C}$ , сопровождающихся выходом водорода из связанного состояния и формированием водородосодержащих пузырей, распределенных в имплантированном слое кремниевой пластины, что при расслоении имплантированной пластины приводит к неоднородному переносу отсекаемого слоя кремния по площади пластины и формированию шероховатой поверхности, получаемой структуры кремний-на-изоляторе.

Техническим результатом изобретения является улучшение качества КНИ структуры.

Технический результат достигается тем, в способе изготовления структуры кремний на изоляторе, заключающимся в том, что в пластину кремния осуществляют имплантацию водорода, проводят химическую обработку пластины кремния и подложки, пластину кремния и подложку соединяют, сращивают и расслаивают по имплантированному слою пластины, при этом после химической обработки проводят сушку, удаление физически адсорбированных веществ с поверхности пластины и подложки, соединение пластины и подложки, их сращивание и расслоение по имплантированному слою пластины в одну

стадию, в низком вакууме, при температуре, при которой водород, внедренный вследствие имплантации, остается в кремнии в связанном состоянии.

В способе имплантацию водорода в пластину кремния проводят через предварительно выращенный тонкий ( $5 \div 50$  нм) слой  $\text{SiO}_2$ , который после имплантации убирают.

В способе при имплантации используют ионы водорода  $\text{H}_2^+$  или  $\text{H}^+$  дозой  $(1,5 \div 15) \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$  и энергией  $20 \div 200 \text{ кэВ}$ .

В способе после расслоения по имплантированному слою пластины кремния проводят отжиг при температуре  $1100^\circ\text{C}$  в течение  $0,5 \div 1$  часа.

В способе приповерхностный нарушенный слой со структуры кремний-на-изоляторе, полученной на подложке в результате расслоения по имплантированному слою пластины кремния, удаляют полировкой или окислением с последующим травлением.

В способе в качестве подложки используют пластину кремния, на которой перед химической обработкой выращивают термический оксид кремния толщиной  $0,01 \div 3 \text{ мкм}$ .

В способе в качестве подложки используют стеклянную пластину толщиной порядка  $500 \text{ мкм}$ .

В способе в качестве подложки используют кварцевую пластину толщиной порядка  $500 \text{ мкм}$ .

В способе сушку, удаление физически адсорбированных веществ с поверхности пластины и подложки, соединение пластины и подложки, их сращивание и расслоение по имплантированному слою пластины проводят в низком вакууме ( $10^1 \div 10^4 \text{ Па}$ ), при температуре от  $80$  до  $350^\circ\text{C}$ , длительностью от  $0,1$  до  $100$  часов.

Сущность изобретения поясняется нижеследующим описанием и прилагаемыми фигурами.

На фиг. 1 схематично представлены две основные стадии изготовления КНИ-структуры заявляемым способом: А – имплантация ионов водорода в пластину; В – сушка, удаление физически адсорбированных веществ с поверхности пластины и подложки,

соединение пластины и подложки, расслоение по имплантированному слою пластины с получением тонкой пленки кремния в вакуумной камере, где 1 – пластина кремния, 2 – глубина залегания имплантированного водорода, 3 – пластина кремния, образующая подложку, 4 – термический оксид кремния, 5 – отсеченный слой кремния.

На фиг. 2 представлены фотографии поверхности структур КНИ, изготовленные при атмосферном давлении (а) и в условиях низкого вакуума (б).

На фиг. 3 представлены полученные методом атомно-силовой микроскопии изображения шероховатостей поверхности структур КНИ, изготовленных а) имплантацией ионов водорода с энергией 100 кэВ (средняя величина шероховатости поверхности около 11,3 нм) и б) имплантацией ионов водорода низкой энергии ~20 кэВ (средняя величина шероховатости поверхности около 6,7 нм).

На фиг. 4 представлена фотография поверхности КНИ структуры, изготовленной предлагаемым способом, с отсутствием микроуполов и микрополостей размером более 0,25 мкм.

Физической основой предлагаемого способа создания структур КНИ путем низкотемпературного сращивания пластины кремния и подложки с одновременным переносом тонкой пленки кремния (составляющим элементом структур КНИ) является различие поверхностных энергий пары гидрофильных поверхностей Si/SiO<sub>2</sub> и пары гидрофобных поверхностей Si/Si в разных температурных интервалах. В частности, при температурах 20 ÷ 500° С величина поверхностной энергии пары гидрофильных Si/SiO<sub>2</sub> поверхностей превышает величину поверхностной энергии пары Si/Si гидрофобных поверхностей. В случае чистых поверхностей это превышение может достигать одного порядка величины при температурах 150 ÷ 300° С. Отметим, что этот температурный интервал ниже температур, используемых непосредственно при сращивании и переносе тонкой пленки с окисным слоем кремния в известном способе изготовления структуры кремний-на-изоляторе (патент США № 5 374 564, МПК: 5 H01L 21/265), величина

которых составляется более 500°C и выбирается исходя из достижения условий освобождения водорода из связанного состояния с переходом его в микропоры и увеличения давления в них, приводящего в результате к расслоению облученной пластины по имплантированному слою. С точки зрения предлагаемого способа, создание КНИ структур может быть рассмотрено как процесс соединения гидрофильных поверхностей (сращивание пластины кремния и подложки) и разрыва гидрофобных поверхностей (водородный перенос тонкой пленки) в указанном температурном интервале. Для реализации предлагаемого способа необходимо решение двух основных задач: 1) обеспечить внешние (сращиваемые) высокосовершенные гидрофильные поверхности; 2) создать внутренние гидрофобные поверхности в соседних атомных плоскостях внутри пластины кремния.

Параметрами, определяющими величину поверхностной энергии в каждом случае, являются температура и высокое структурное качество поверхностей. Поэтому одним из главных требований, необходимых для обеспечения 100% гидрофильного соединения пластины и подложки, является предельно возможная чистота поверхностей сращиваемых пластины и подложки, отсутствие физически адсорбированных примесей на исходных поверхностях. Для достижения требуемой чистоты применяли стандартную в кремниевой технологии RCA-очистку (Semiconductor Wafer Bonding. Science and Technology, Q.-Y. Tong, U. Goesele, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 10158-0012, 1999, p. 52), то есть обработку в перекисно-аммиачном растворе, снятие естественного окисла в разбавленной плавиковой кислоте и обработку в перекисно-кислотном растворе. После каждой операции выполняли промывку в ультрачистой деионизованной воде. Сращивание пластины и подложки проводили между гидрофильными поверхностями, полученными обработкой в перекисно-аммиачных растворах разного соотношения (RCA-1, RCA-2), которые обеспечивали контактный угол смачивания и для кремния, и для  $\text{SiO}_2$ , а также для стекла и кварца от 0 до 10° (Semiconductor Wafer Bonding. Science and Technology, Q.-



Y. Tong, U. Goesele, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 10158-0012, 1999, p. 62).

После гидрофилизации, с целью сушки и удаления избыточных физически адсорбированных веществ с поверхности, пластину и подложку помещали в центрифугу в низковакуумную камеру, нагревали в низком вакууме до температур  $80 \div 350^\circ \text{C}$ , и затем соединяли в пары.

Внутренние гидрофобные поверхности в соседних атомных плоскостях, параллельных поверхности пластины кремния, могут быть сформированы в имплантированном ионами водорода слое Si. Формирование таких поверхностей происходит путем образования в имплантированном слое Si-H-H-Si связей за счет захвата водорода на растянутые и ослабленные Si-Si связи, перпендикулярные поверхности. Для того чтобы обеспечить на глубине среднего проективного пробега ионов  $R_p$  формирование двух гидрофобных (100) плоскостей со 100% покрытием Si-H-H-Si связями необходимо использовать дозу ионов  $\text{H}^+$  (с энергиями  $20 \div 200 \text{ кэВ}$ )  $3 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$  и выше. Однако, уже при дозах имплантации  $\sim 1,5 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$  (для ионов с энергией 20 кэВ) начинают образовываться микротрещины внутри имплантированного слоя кремния. Их присутствие также сопровождается ослаблением Si-Si связей в имплантированном кремнии, причем этот процесс характеризуется энергиями связи близкими к поверхностным энергиям гидрофобных Si-H-H-Si плоскостей. Поэтому реально для создания гидрофобных внутренних плоскостей не требуется 100% покрытия внутренних (100) плоскостей Si-H-H-Si связями. Исходя из этих представлений, используемые нами дозы ионов водорода составляли от  $1,5 \times 10^{16}$  до  $1,5 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$  для ионов с энергией  $20 \div 200 \text{ кэВ}$ , соответственно.

Базируясь на изложенных физических представлениях, достижение технического результата было осуществлено реализацией следующих стадий, основными из которых являются две, представленные на Фиг. 1, при следующих условиях их реализации.

1. На этапе первой из основных стадий (Фиг. 1 А) проводят имплантацию ионов водорода с энергией  $20 \div 200 \text{ кэВ}$  через тонкий слой  $\text{SiO}_2$   $5 \div 50 \text{ нм}$ , который служит для

защиты пластины от загрязнений в процессе имплантации и в дальнейшем его убирают. Доза водорода, необходимая для отслоения (скальвания) тонкой плёнки кремния при последующих термообработках, составляет  $1,5 \times 10^{16} \div 1,5 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$  для ионов с энергией  $20 \div 200 \text{ кэВ}$ , соответственно.

2. В качестве подложки используют термически окисленную пластину кремния. Оксид кремния, который после сращивания пластины и подложки будет играть роль разделяющего окисла, выращивают термически на пластине кремния, образующей подложку, и, соответственно, не подвергают воздействию радиации, сохраняя его высокое качество в КНИ-структуре. Либо для изготовления КНИ структуры используют в качестве подложки стеклянную пластину, либо пластину синтетического кварца.
3. Проводят химическую обработку пластины кремния и подложки, включающую очистку пластины и подложки, отмывку их струей воды или ультразвуковым воздействием деионизованной воды, гидрофилизацию пластины и подложки с последующей отмывкой их струей воды или ультразвуковым воздействием деионизованной воды. Очистку и гидрофилизацию поверхностей имплантированной пластины и неимплантированной подложки проводят обработкой в перекисно-аммиачных и перекисно-кислотных растворах разного соотношения  $\text{NH}_4\text{OH}:\text{H}_2\text{O}:\text{H}_2\text{O}_2 = 1:1:5 \div 1:2:7$  и  $\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O} = 1:1:6 \div 1:2:8$  (RCA-1 и RCA-2, соответственно).
4. На этапе второй из основных стадий (Фиг. 1В) проводят удаление избыточной воды, сушку поверхности пластины и подложки, удаление физически адсорбированных веществ с поверхности пластины и подложки перед соединением, соединение, сращивание и расслоение по имплантированному слою пластины при температурах  $80 \div 350^\circ \text{C}$  длительностью от 100 до 0,1 часов, соответственно, в одной камере с низким вакуумом ( $10^1 \div 10^4 \text{ Па}$ ).

5. Завершающий отжиг КНИ структуры при  $1100 \pm 50^\circ \text{C}$ , необходимый в некоторых случаях для увеличения силы сращивания между пластиной кремния и подложкой до величин, равных энергии разрыва объемного кремния, а также для удаления из отсечённого слоя кремния остаточных радиационных дефектов и водорода, проводят в течение  $0,5 \pm 1$  часа.
6. Удаление верхнего нарушенного слоя отсеченной пленки кремния производят либо полировкой, либо окислением с последующим травлением.

Таким образом, основное отличие предлагаемого способа изготовления структуры КНИ путем водородно-индуцированного переноса заключается в том, что сушка, удаление физически адсорбированных веществ с поверхности пластины и подложки, соединение пластины и подложки и расслоение по имплантированному слою пластины проводят при температуре, при которой водород, внедренный вследствие имплантации, остается в кремнии в связанном состоянии, в низком вакууме, а именно:  $10^1 \div 10^4$  Па при температуре от  $80$  до  $350^\circ \text{C}$  длительностью от  $100$  до  $0,1$  часов, соответственно, в одну стадию (Фиг. 1В). Структуры КНИ, изготовленные в условиях низкого вакуума обладают более высоким качеством, выражающимся в отсутствии микроуполов и микрополостей, что демонстрирует Фиг. 2. Увеличение энергии связи пластины и подложки в вакууме позволяет уменьшить энергию имплантации и толщину переносимого слоя, что также обеспечивает уменьшение шероховатости поверхности пластины со структурой КНИ (Фиг. 3) и также совокупности радиационно-термических воздействий на структуру, используемую в процессе изготовления КНИ.

#### Пример 1

1. В пластину кремния проводят имплантацию ионов  $H_2^+$  с энергией 140 кэВ и дозой  $2,5 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$  через тонкий защитный  $\text{SiO}_2$  толщиной 50 нм, который после имплантации удаляют.
2. В качестве подложки используют пластину кремния, на которой выращивают термический окисел до толщины  $\text{SiO}_2$  280 нм.
3. Проводят химическую обработку пластины кремния и подложки, включающую очистку пластины и подложки в растворе RCA, гидрофилизацию их поверхностей в перекисно-аммиачном растворе, отмывку пластины и подложки струей или ультразвуковым воздействием деионизованной воды после очистки и гидрофилизации.
4. Пластину кремния, подвергшуюся имплантации, и подложку, в качестве которой используют окисленную пластину кремния, помещают в вакуумную камеру с давлением  $10^2$  Па, нагревают до температуры  $300^\circ\text{C}$ , сушат и удаляют физически адсорбированные вещества с поверхности пластины и подложки в течение 0,1 часа, затем нагретые до  $300^\circ\text{C}$  пластину и подложку соединяют, сращивают и расслаивают по имплантированному слою пластины в тех же условиях в течение 40 часов, в результате чего происходит их самопроизвольное разъединение в вакуумной камере с формированием структуры  $0,6 \text{ мкм Si} / 0,28 \text{ мкм SiO}_2 / \text{Si}$ . На фигуре 4 представлена фотография поверхности сформированной КНИ-структуры, которая демонстрирует полное отсутствие микроуполов и микрополостей размером по крайней мере больше 0,25 мкм.
5. Удаляют верхний нарушенный слой отсеченной пленки кремния химико-механической полировкой пластины со структурой КНИ.

## Пример 2

1. В пластину кремния проводят имплантацию ионов  $H_2^+$  с энергией 40 кэВ и дозой  $1.5 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$  через тонкий защитный  $\text{SiO}_2$  толщиной 5 нм, который после имплантации удаляют.
2. В качестве подложки используют пластину кремния, на которой выращивают термический окисел до толщины  $\text{SiO}_2$  280 нм.
3. Проводят химическую обработку пластины кремния и подложки, включающую очистку пластины кремния и подложки в растворе RCA и гидрофилизацию их поверхностей в перекисно-аммиачном растворе, отмывку пластины и подложки струей или ультразвуковым воздействием деионизованной воды после очистки и гидрофилизации.
4. Пластины кремния, подвергшуюся имплантации, и подложку, в качестве которой используют окисленную пластину кремния, помещают в вакуумную камеру с давлением  $10^1$  Па, нагревают до температуры  $200^\circ\text{C}$ , сушат и удаляют физически адсорбированные вещества с поверхности пластины и подложки в течение 0,1 часа, затем нагретые до  $200^\circ\text{C}$  пластины и подложку соединяют, сращивают в тех же условиях в течение 0,15 часа, затем температуру увеличивают до  $300^\circ\text{C}$  и расслаивают по имплантированному слою пластины в той же вакуумной камере при  $300^\circ\text{C}$  в течение 40 часов, в результате чего происходит их самопроизвольное разъединение в вакуумной камере с образованием структуры  $0,2 \text{ мкм Si} / 0,28 \text{ мкм SiO}_2 / \text{Si}$ , на поверхности которой также полностью отсутствуют микроупола и микрополости размером больше 0,25 мкм.
5. Удаляют верхний нарушенный слой отсеченной пленки кремния окислением структуры и последующим химическим травлением оксида в водном растворе плавиковой кислоты.

### Пример 3

1. В пластину кремния проводят имплантацию ионов  $H_2^+$  с энергией 140 кэВ и дозой  $5 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$  через тонкий защитный  $SiO_2$  толщиной 50 нм, который после имплантации удаляют.
2. В качестве подложки используют пластину кремния, на которой выращивают термический окисел до толщины  $SiO_2$  280 нм.
3. Проводят химическую обработку пластины кремния и подложки, включающую очистку пластины кремния и подложки в растворе RCA и гидрофилизацию их поверхностей в перекисно-аммиачном растворе, отмывку пластины и подложки струей или ультразвуковым воздействием деионизованной воды после очистки и гидрофилизации.
4. Пластины кремния, подвергшуюся имплантации, и подложку, в качестве которой используют окисленную пластину кремния помещают в вакуумную камеру с давлением  $10^2$  Па, нагревают до температуры  $150^\circ\text{C}$ , сушат и удаляют физически адсорбированные вещества с поверхности пластины и подложки в течение 0,2 часа, затем температуру увеличивают до  $300^\circ\text{C}$ , нагретые в вакууме до  $300^\circ\text{C}$  пластину и подложку соединяют, сращивают, выдерживая в тех же условиях в течение 10 часов, после чего соединенные пластину и подложку удаляют из вакуумной камеры и механически расслаивают на воздухе при комнатной температуре.
5. Проводят отжиг полученной КНИ структуры при  $1100^\circ\text{C}$  в течение 0,5 часа. Полученная в результате КНИ структура демонстрировала полный перенос пленки с пластины на подложку.
6. Удаляют верхний нарушенный слой отсеченной пленки кремния окислением структуры и последующим травлением оксида в водном растворе плавиковой кислоты.

#### Пример 4

1. В пластину кремния проводят имплантацию ионов  $H^+$  с энергией 20 кэВ и дозой  $4 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$  через тонкий защитный  $\text{SiO}_2$  толщиной 5 нм, который после имплантации удаляют.
2. В качестве подложки используют пластину кремния, на которой выращивают термический окисел до толщины  $\text{SiO}_2$  10 нм.
3. Проводят химическую обработку пластины и подложки, заключающуюся в очистке пластины кремния и подложки в растворе RCA и гидрофилизации их поверхностей в перекисно-аммиачном растворе, отмывке пластины и подложки струей или ультразвуковым воздействием деионизованной воды после очистки и гидрофилизации.
4. Пластину кремния, подвергшуюся имплантации, и подложку, в качестве которой используют окисленную пластину кремния, помещают в вакуумную камеру с давлением  $10^2$  Па, нагревают до температуры  $300^\circ\text{C}$  сушат и удаляют физически адсорбированные вещества с поверхности пластин и подложки в течение 0,1 часа, затем нагретые до  $300^\circ\text{C}$  пластину и подложку соединяют, сращивают и расслаивают по имплантированному слою пластины в тех же условиях в течение 40 часов, в результате чего происходит их самопроизвольное разъединение в вакуумной камере с образованием структуры 0,2 мкм Si / 0,01 мкм  $\text{SiO}_2$  / Si, на поверхности которой также полностью отсутствуют микрокупола и микрополости размером больше 0,25 мкм.
5. Удаляют верхний нарушенный слой отсеченной пленки кремния химико-механической полировкой пластины со структурой КНИ.

#### Пример 5

1. В пластину кремния проводят имплантацию ионов  $H^+$  с энергией 200 кэВ и дозой  $1,5 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$  через тонкий защитный  $\text{SiO}_2$  толщиной 50 нм, который после имплантации удаляют.
2. В качестве подложки используют пластинок кремния, на которой выращивают термический окисел до толщины  $\text{SiO}_2$  410 нм.
3. Проводят химическую обработку пластины и подложки, включающую очистку пластины кремния и подложки в растворе RCA и гидрофилизацию их поверхностей в перекисно-аммиачном растворе, отмывку пластины и подложки струей или ультразвуковым воздействием деионизованной воды после очистки и гидрофилизации.
4. Пластину кремния, подвергшуюся имплантации, и подложку, в качестве которой используют окисленную пластину кремния, помещают в вакуумную камеру с давлением  $10^4$  Па, нагревают до температуры  $350^\circ\text{C}$  сушат и удаляют физически адсорбированные вещества с поверхности пластины и подложки в течение 0,1 часа, затем нагретые до  $350^\circ\text{C}$  пластину и подложку соединяют, сращивают и расслаивают по имплантированному слою пластины в тех же условиях в течение 0,5 часа, в результате чего происходит их самопроизвольное разъединение в вакуумной камере с образованием структуры  $1,8 \text{ мкм Si} / 0,41 \text{ мкм SiO}_2 / \text{Si}$ , на поверхности которой также полностью отсутствуют микроупола и микрополости размером больше 0,25 мкм.
5. Удаляют верхний нарушенный слоя отсеченной пленки кремния окислением структуры и последующим травлением оксида в водном растворе плавиковой кислоты.

#### Пример 6

1. В пластину кремния проводят имплантацию ионов  $H_2^+$  с энергией 140 кэВ и дозой  $6 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$  через тонкий защитный  $\text{SiO}_2$  толщиной 50 нм, который после имплантации удаляют.



2. В качестве подложки используют пластину кремния, на которой выращивают термический окисел до толщины  $\text{SiO}_2$  280 нм.
3. Проводят химическую обработку пластины и подложки, включающую очистку пластины кремния и подложки в растворе RCA и гидрофилизацию их поверхностей в перекисно-аммиачном растворе, отмывку пластины и подложки струей или ультразвуковым воздействием деионизованной воды после очистки и гидрофилизации.
4. Пластины кремния, подвергшуюся имплантации, и подложку, в качестве которой используют окисленную пластину кремния, помещают в вакуумную камеру с давлением  $10^1$  Па, нагревают до температуры  $80^\circ\text{C}$  сушат и удаляют физически адсорбированные вещества с поверхности пластины и подложки в течение 1 часа, затем нагретые до  $300^\circ\text{C}$  пластину и подложку соединяют, сращивают и расслаивают по имплантированному слою пластины в тех же условиях в течение 25 часов, в результате чего происходит их самопроизвольное разъединение в вакуумной камере с образованием структуры  $0,6 \text{ мкм Si} / 0,28 \text{ мкм SiO}_2 / \text{Si}$ , на поверхности которой также полностью отсутствуют микроупола и микрополости размером больше  $0,25 \text{ мкм}$ .
5. Удаляют верхний нарушенный слой отсеченной пленки кремния химико-механической полировкой пластины со структурой КНИ.

### Пример 7

1. В пластину кремния проводят имплантацию ионов  $\text{H}^+$  с энергией 20 кэВ и дозой  $4 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$  через тонкий защитный  $\text{SiO}_2$  толщиной 5 нм, который после имплантации удаляют.
2. В качестве подложки используют пластину кремния, на которой выращивают термический окисел до толщины  $\text{SiO}_2$  3 мкм.

3. Проводят химическую обработку пластины и подложки, включающую очистку пластины кремния и подложки в растворе RCA и гидрофилизацию их поверхностей в перекисно-аммиачном растворе, отмывку пластины и подложки струей или ультразвуковым воздействием деионизованной воды после очистки и гидрофилизации.
4. Пластину кремния, подвергшуюся имплантации, и подложку, в качестве которой используют окисленную пластину кремния, помещают в вакуумную камеру с давлением  $10^2$  Па, нагревают до температуры  $350^\circ\text{C}$ , сушат и удаляют физически адсорбированные вещества с поверхности пластины и подложки в течение 0,1 часа, затем нагретые до  $350^\circ\text{C}$  пластину и подложку соединяют, сращивают и расслаивают по имплантированному слою пластины в тех же условиях в течение 10 часов, в результате чего происходит их самопроизвольное разъединение в вакуумной камере с образованием структуры  $0,2\text{ мкм Si} / 3\text{ мкм SiO}_2 / \text{Si}$ , на поверхности которой также полностью отсутствуют микроупола и микрополости размером больше  $0,25\text{ мкм}$ .
5. Удаляют верхний нарушенный слой отсеченной пленки кремния химико-механической полировкой пластины со структурой КНИ.

#### Пример 8

1. В пластину кремния проводят имплантацию ионов  $\text{H}_2^+$  с энергией  $140\text{ кэВ}$  и дозой  $3,5 \times 10^{16}\text{ см}^{-2}$  через тонкий защитный  $\text{SiO}_2$  толщиной  $50\text{ нм}$ , который после имплантации удаляют.
2. В качестве подложки используют стеклянную пластину (марки ЛК-5), которую подвергают химико-механической полировке до толщины  $500\text{ мкм}$ .
3. Проводят химическую обработку пластины и подложки, включающую очистку пластины кремния и подложки в растворе RCA и гидрофилизацию их поверхностей в перекисно-аммиачном растворе, отмывку пластины и подложки струей или ультразвуковым воздействием деионизованной воды после очистки и гидрофилизации.

4. Пластину кремния, подвергшуюся имплантации, и подложку, в качестве которой используют стеклянную пластину, помещают в вакуумную камеру с давлением  $10^2$  Па, нагревают до температуры  $300^\circ\text{C}$ , сушат и удаляют физически адсорбированные вещества с поверхности пластины и подложки в течение в течение 0,1 часа, затем нагретые до  $300^\circ\text{C}$  пластину и подложку соединяют, сращивают и расслаивают по имплантированному слою пластины в тех же условиях в течение 30 часов, в результате чего происходит их самопроизвольное разъединение в вакуумной камере с формированием структуры 0,6 мкм Si / 500 мкм стекло.
5. Удаляют верхний нарушенный слой отсеченной пленки кремния химико-механической полировкой пластины со структурой КНИ.

#### Пример 9.

1. В пластину кремния проводят имплантацию ионов  $H_2^+$  с энергией 140 кэВ и дозой  $3,5 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$  через тонкий защитный  $\text{SiO}_2$  толщиной 50 нм, который после имплантации удаляют.
2. В качестве подложки используют стеклянную пластину (марки ЛК-5), которую подвергают химико-механической полировке до толщины 500 мкм.
3. Проводят химическую обработку пластины и подложки, включающую очистку пластины кремния и подложки в растворе RCA и гидрофилизацию их поверхностей в перекисно-аммиачном растворе, отмывку пластины и подложки струей или ультразвуковым воздействием деионизованной воды после очистки и гидрофилизации.
4. Пластину кремния, подвергшуюся имплантации, и подложку, в качестве которой используют стеклянную пластину, помещают в вакуумную камеру с давлением  $10^3$  Па, нагревают до температуры  $350^\circ\text{C}$ , сушат и удаляют физически адсорбированные вещества с поверхности пластины и подложки в течение 0,1 часа, затем нагретые до

350° С пластину и подложку соединяют с приложением электрического поля (отрицательный электрод на стеклянной пластине), сращивают и расслаивают по имплантированному слою пластины в тех же условиях в течение 10 часов, в результате чего происходит их самопроизвольное разъединение в вакуумной камере с формированием структуры 0,6 мкм Si / 500 мкм стекло.

5. Удаляют верхний нарушенный слой отсеченной пленки кремния химико-механической полировкой пластины со структурой КНИ.

#### Пример 10

1. В пластину кремния проводят имплантацию ионов  $H_2^+$  с энергией 40 кэВ и дозой  $2.5 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$  через тонкий защитный  $SiO_2$  толщиной 5 нм, который после имплантации удаляют.
2. В качестве подложки используют кварцевую пластину (синтетический кварц), которую подвергают химико-механической полировке до толщины 500 мкм.
3. Проводят химическую обработку пластины и подложки, включающую очистку пластины кремния и подложки в растворе RCA и гидрофилизацию их поверхностей в перекисно-аммиачном растворе, отмывку пластины и подложки струей или ультразвуковым воздействием деионизованной воды после очистки и гидрофилизации.
4. Пластины кремния, подвергшуюся имплантации, и подложку, в качестве которой используют кварцевую пластину, помещают в вакуумную камеру с давлением  $10^2$  Па, нагревают до температуры 300°С, сушат и удаляют физически адсорбированные вещества с поверхности пластины и подложки в течение 0,1 часа, затем нагретые до 300° С пластину и подложку соединяют, сращивают и расслаивают по имплантированному слою пластины в тех же условиях в течение 30 часов, в результате

последующего охлаждения в вакуумной камере происходит их самопроизвольное разьединение и формирование структуры 0,2 мкм Si / 500 мкм кварц.

5. Удаляют верхний нарушенный слой отсеченной пленки кремния окислением структуры и последующим травлением оксида в водном растворе плавиковой кислоты.

Таким образом, как видно из примеров, предлагаемый способ изготовления структуры кремний-на-изоляторе с использованием сушки, удаления физически адсорбированных веществ с поверхности пластины и подложки, соединения и расслоения (водородно-индуцированного расслоения одной из пластин, облученной водородом) в условиях низкого вакуума при относительно умеренных температурах, по сравнению с известным техническим решением, позволяет:

1. Уменьшить необходимую энергию ионов водорода и, соответственно, уменьшить толщину перенесенного (отсеченного) слоя кремния.
2. Уменьшить необходимую дозу ионов водорода и, соответственно, уменьшить время облучения.
3. Уменьшить шероховатость поверхности структуры КНИ и совокупность радиационно-термических воздействий на структуру, используемых в процессе изготовления структуры КНИ.
4. Уменьшить концентрацию дефектов на границе раздела Si/SiO<sub>2</sub>.
5. Получить практически полное отсутствие пузырей на поверхности КНИ - структур и отверстий в пленке кремния.
6. Улучшить качество и выход годных структур.
7. Снизить стоимость КНИ-структур, изготовленных предлагаемым способом, в основе которого лежит водородно-индуцированного перенос, благодаря отсутствию операции расслоения (скальвания) при 400 ÷ 600° С.

Данные преимущества являются следствием десорбции с поверхности исходных пластин воды и других физически адсорбированных веществ при умеренном нагреве в

низком вакууме, а также следствием уменьшения на несколько порядков величины количества газа, захваченного в микрополостях между соединяемыми пластинами, которые при дальнейших термообработках могут образовывать микропузыри на границе сращивания Si/SiO<sub>2</sub> и микрократеры (отверстия) в отсеченном слое кремния.

## Формула изобретения

1. Способ изготовления структуры кремний на изоляторе, заключающийся в том, что в пластину кремния осуществляют имплантацию водорода, проводят химическую обработку пластины кремния и подложки, пластину кремния и подложку соединяют, сращивают и расслаивают по имплантированному слою пластины, отличающийся тем, что после химической обработки проводят сушку, удаление физически адсорбированных веществ с поверхности пластины и подложки, соединение пластины и подложки, их сращивание и расслоение по имплантированному слою пластины в одну стадию, в низком вакууме, при температуре, при которой водород, внедренный вследствие имплантации, остается в кремнии в связанном состоянии.
2. Способ по п. 1, в котором имплантацию водорода в пластину кремния проводят через предварительно выращенный тонкий ( $5 \div 50$  нм) слой  $\text{SiO}_2$ , который после имплантации убирают.
3. Способ по п. 1 или п. 2, отличающийся тем, что проводят имплантацию ионами водорода  $\text{H}_2^+$  или  $\text{H}^+$  дозой  $(1,5 \div 15) \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$  и энергией  $20 \div 200 \text{ кэВ}$ .
4. Способ по любому из п. п. 1 – 3, в котором после расслоения по имплантированному слою пластины кремния проводят отжиг при температуре  $1100^\circ\text{C}$  в течение  $0,5 \div 1$  часа.
5. Способ по любому из п. п. 1 – 4, в котором приповерхностный нарушенный слой со структуры кремний-на-изоляторе, полученной на подложке в результате расслоения по имплантированному слою пластины кремния, удаляют полировкой или окислением с последующим травлением.
6. Способ по любому из п. п. 1 – 5, в котором в качестве подложки используют пластину кремния, на которой перед химической обработкой выращивают термический оксид кремния толщиной  $0,01 \div 3 \text{ мкм}$ .
7. Способ по любому из п. п. 1 – 5, отличающийся тем, что в качестве подложки используют стеклянную пластину толщиной порядка  $500 \text{ мкм}$ .

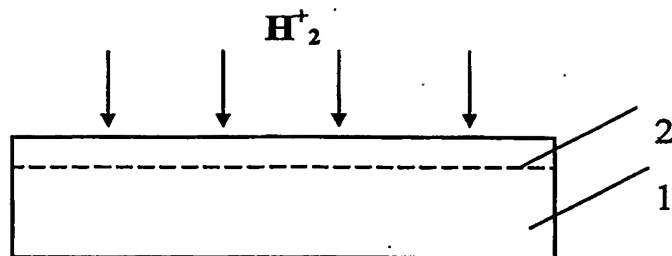
8. Способ по любому из п. п. 1 – 5, отличающийся тем, что в качестве подложки используют кварцевую пластину толщиной порядка 500 мкм.

9. Способ по любому из п. п. 1 – 8, отличающийся тем, что сушку, удаление физически адсорбированных веществ с поверхности пластины и подложки, соединение пластины и подложки, их сращивание и расслоение по имплантированному слою пластины проводят в низком вакууме ( $10^1 \div 10^4$  Па), при температуре от 80 до 350° С, длительностью от 0,1 до 100 часов.

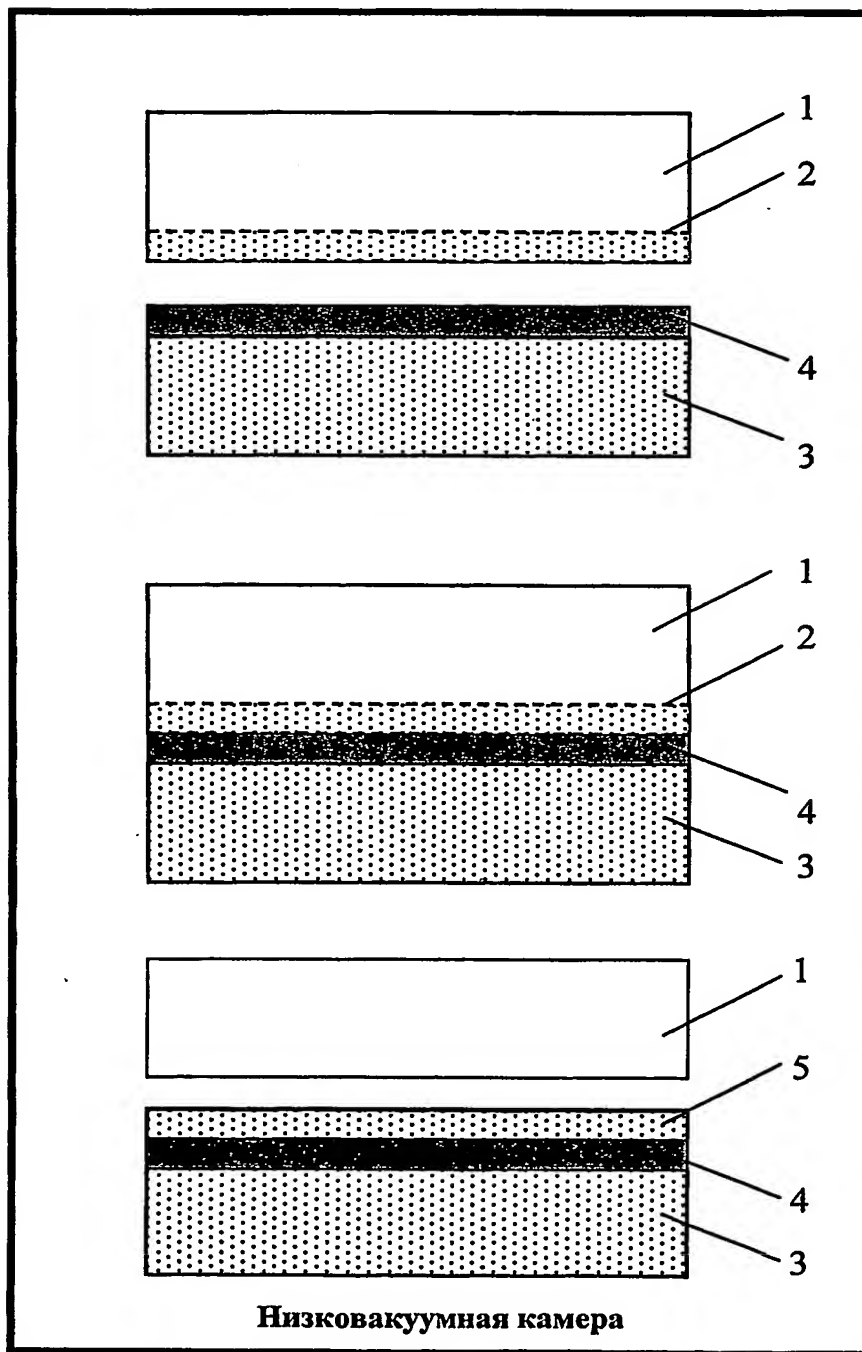


Способ изготовления структуры  
кремний-на-изоляторе

А



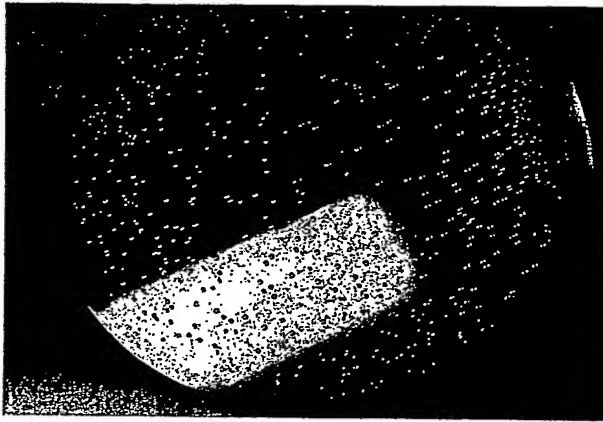
В



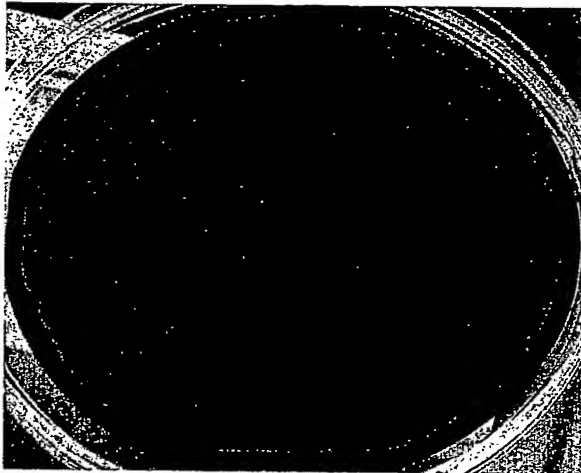
Фиг. 1

Способ изготовления структуры  
кремний-на-изоляторе

а)

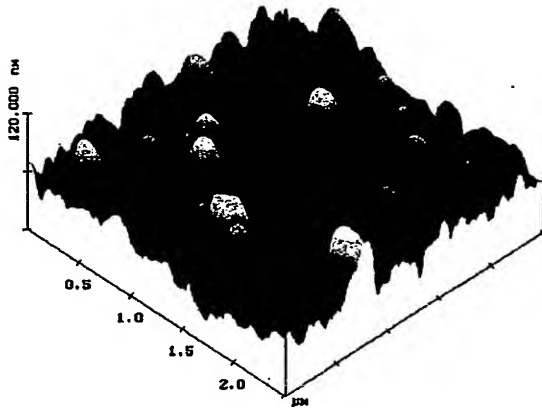


б)

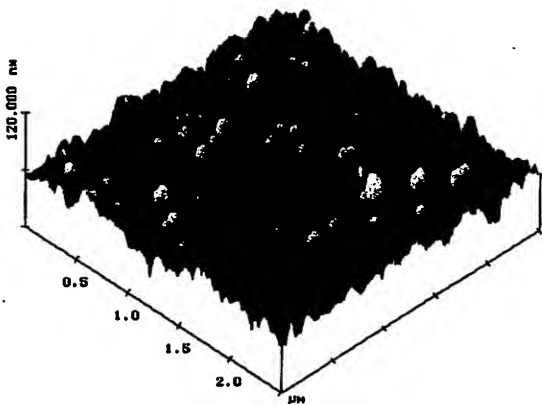


Фиг. 2

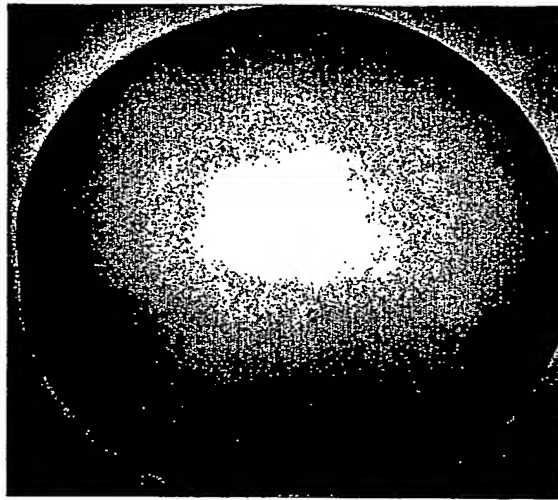
а)



б)



Фиг. 3



Фиг. 4

## Реферат

### Способ изготовления структуры кремний-на-изоляторе

Изобретение относится к полупроводниковой технологии и может быть использовано в области создания современных материалов для микроэлектроники, в частности, структур кремний-на-изоляторе (КНИ) для производства современных СБИС и других изделий микроэлектроники.

Способ изготовления структуры кремний на изоляторе, заключающийся в том, что в пластину кремния осуществляют имплантацию водорода, проводят химическую обработку пластины кремния и подложки, пластину кремния и подложку соединяют, сращивают и расслаивают по имплантированному слою пластины, причем после химической обработки проводят сушку, удаление физически адсорбированных веществ с поверхности пластины и подложки, соединение пластины и подложки, их сращивание и расслоение по имплантированному слою пластины в одну стадию, в низком вакууме, при температуре, при которой водород, внедренный вследствие имплантации, остается в кремнии в связанном состоянии.

В способе имплантацию водорода в пластину кремния проводят через предварительно выращенный тонкий ( $5 \div 50$  нм) слой  $\text{SiO}_2$ , который после имплантации убирают. Имплантацию осуществляют ионами водорода  $\text{H}_2^+$  или  $\text{H}^+$  дозой  $(1,5 \div 15) \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$  и энергией  $20 \div 200$  кэВ. После расслоения по имплантированному слою пластины кремния проводят отжиг при температуре  $1100^\circ\text{C}$  в течение  $0,5 \div 1$  часа. Приповерхностный нарушенный слой со структуры кремний-на-изоляторе, полученной на подложке в результате расслоения по имплантированному слою пластины кремния, удаляют полировкой или окислением с последующим травлением. В качестве подложки используют пластину кремния, на которой перед химической обработкой выращивают термический оксид кремния толщиной  $0,01 \div 3$  мкм, либо стеклянную пластину толщиной порядка  $500$  мкм, либо кварцевую пластину толщиной  $500$  мкм. Сушку, удаление физически адсорбированных веществ с поверхности пластины и подложки, соединение

пластины и подложки, их сращивание и расслоение по имплантированному слою пластины проводят в низком вакууме ( $10^1 \div 10^4$  Па), при температуре от 80 до 350° С, длительностью от 0,1 до 100 часов.

Таким образом, предлагаемый способ позволяет: уменьшить необходимую энергию ионов водорода и, соответственно, уменьшить толщину перенесенного (отсеченного) слоя кремния; уменьшить необходимую дозу ионов водорода и, соответственно, уменьшить время облучения; уменьшить шероховатость поверхности структуры КНИ и совокупность радиационно-термических воздействий на структуру, используемых в процессе изготовления структуры КНИ; уменьшить концентрацию дефектов на границе раздела Si/SiO<sub>2</sub>; получить практически полное отсутствие пузырей на поверхности КНИ - структур и отверстий в пленке кремния; улучшить качество и выход годных структур; снизить стоимость КНИ-структур, изготовленных предлагаемым способом, в основе которого лежит водородно-индуцированного перенос, благодаря отсутствию операции расслоения (скалывания) при 400 ÷ 600° С.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**